

IL FOSFOGESSO COME RITARDANTE DI PRESA NEL CEMENTO PORTLAND
PHOSPHOGYPSUM AS SET RETARDER IN PORTLAND CEMENT

A. Büyükköç, R. Aksöz, L. Onat

aliihsanboyukkoc@yahoo.com

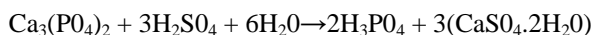
IL FOSFOGESSO COME RITARDANTE DI PRESA NEL CEMENTO PORTLAND

PHOSPHOGYPSUM AS SET RETARDER IN PORTLAND CEMENT

A.Büyükköç (*), R. Aksöz (**), L. Onat (***)

INTRODUZIONE

Il fosfogesso (PG) é un sottoprodotto gessoso che deriva dalla lavorazione dell'acido fosforico. La reazione chimica che descrive la formazione del fosfogesso e dell'acido fosforico a partire dalla roccia fosfatica è la seguente:



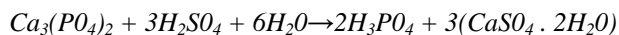
Nel processo ad umido di produzione dell'acido fosforico a partire da roccia fosfatica per attacco con H_2SO_4 , sono necessarie 3 tonn di acido per ogni tonn di P_2O_5 prodotta. Di conseguenza, per precipitazione [1] si ottengono ca. 5 tonn di CaSO_4 umido. A livello mondiale, nella maggior parte dei paesi industrializzati, la produzione di acido fosforico comporta quella di grandi quantità di fosfogesso [2]. Se trattato in modo inadeguato, il materiale può inquinare l'ambiente.

Questo studio sottolinea il potenziale impiego del PG come ritardante di presa nell'industria cementiera turca. Al riciclaggio del fosfogesso sono interessati i paesi ad elevato livello di sviluppo. Ad esempio, in Giappone, nel 1974 sono state utilizzate 4 milioni di tonnellate di PG. Attualmente la produzione di PG e la sua riutilizzazione sono ben bilanciate. L'impiego del PG in Giappone risale ad oltre 40 anni

I *) Quality and Raw Material Engineer, Set Balıkesir Cimento, Turkey. •" Quality Control Engineer, Set Balıkesir Cimento, Turkey. (•••) Laboratory Engineer, Set Balıkesir Cimento, Turkey.

INTRODUCTION

Phosphogypsum (PG) is a by-product gypsum that is derived from the production of phosphoric acid. The chemical reaction describing the formation of phosphogypsum and phosphoric acid from the phosphate rock is the following:



In the wet-process manufacture of phosphoric acid from phosphate rock by using H_2SO_4 , three tons acid are required per ton of P_2O_5 produced. Consequently, about 5 tons of moist CaSO_4 are precipitated [1]. Large quantities of phosphogypsum are generated in most industrial countries world-wide from the production of phosphoric acid [2]. If not managed properly, the material can pollute the environment.

This study underlines the potential use of PG as set retarder in the cement industry in Turkey. Highly developed countries are interested in the recycling of phosphogypsum. In Japan, for example, 4 million tons of PG were used in 1974. The production and re-utilisation of PG now are in equilibrium. PG utilisation in Japan had started more than 40 years

(*) Quality and Raw Material Engineer, Set Balıkesir Cimento. **Tutkey.** (**) Quality Control Engineer, Set Balıkesir Cimento. Turkey. (***) Laboratory Engineer, Set Balıkesir Cimento, Turkey.

fa. Annualmente, si utilizzano circa 4 milioni di tonn, la meta delle quali nell'industria del cemento [3].

Il fosfogesso puo essere considerato un'importante fonte secondaria di gesso. La sua utilizzazione e importante da svariati punti di vista, dalla conservazione delle risorse di gesso naturale alla protezione dell'ambiente e al risparmio di energia [4].

MATERIALI E SPERIMENTAZIONE

Un campione medio rappresentativo del fosfogesso si e ottenuto da cumuli di materiale di rifiuto di un impianto di produzione dell'acido fosforico (BAGFAS, Bandirma Gübre Fabrikalari, Balikesir). Il PG da scarto viene conservato previa messa a cumulo su due mucchi di diverso tipo, cioe sottoprodotto fresco e stagionato. I campioni di PG utilizzati nel nostro studio sono stati ricavati da cumuli di PG stagionato; le riserve a disposizione possono essere stimate su 4,5-5 milioni di tonn. Le analisi chimiche del PG essiccato, del gesso naturale (NG), del clinker di cemento Portland e del calcare usato come aggiunta sono mostrate in Tab. I.

Le due principali impurezze presenti nel PG sono la P_2O_5 idrosolubile ed il fluoro, tutti in forma acida. I contenuti di impurezze nel PG e nel gesso naturale (reagent-grade) sono dati in Tab. II.

Al fine di esaminare l'uso del fosfogesso come ritardante di presa, il clinker Portland e stato comacinato con proporzioni crescenti, dall'1 al 5% del cemento (ottimizzazione del-

ago. About 4 million tons were used yearly, and fifty per cent in the cement industry alone [3].

Phosphogypsum can be considered to be an important secondary gypsum resource. Its use is important from several viewpoints, from conservation of natural gypsum resources to the protection of the environment, to energy saving [4].

MATERIALS AND EXPERIMENTATION

Phosphogypsum as an average sample representative of the industrial waste was obtained from the waste stockpiles of a phosphoric acid manufacturing plant in Turkey (BAGFAS, Bandirma Gübre Fabrikalari, Balikesir). The waste PG was occurring in two types of stockpile, namely fresh by-product and aged PG. The PG samples used in our experiment were taken from the aged PG stockpiles with an available reserve estimated at 4,5-5 million tons. Chemical analyses of the oven-dried PG, the reagent grade natural gypsum (NG), the Portland cement clinker and limestone as additives are given in Table I.

Two main impurities in PG are water-soluble P_2O_5 and fluorine, all of them in the acidic form. Impurity contents in PG and natural (reagent grade) gypsum are given in Table II.

In order to investigate the use of phosphogypsum as set retarder, the Portland clinker was interground with PG and NG in increasing proportions of one to five per cent of the

TABELLA I

Risultati delle analisi chimiche dei materiali (in percentuale su materiale calcinato)

Results of the chemical analyses of the materials (% on an ignited basis)

Materiali - Materials	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	K ₂ O	Na ₂ O
Clinker	21,00	6,07	3,57	64,77	1,65	1,04	0,91	0,36
Calcare - Limestone	0,43	0,05	0,08	55,61	0,00	0,00	0,01	0,00
Gesso naturale - Natural gypsum	0,85	0,07	0,01	31,17	1,11	43,18	0,01	0,03
PG	2,19	0,13	0,02	31,94	0,00	43,75	0,00	0,06

Nota: Il contenuto di calce libera del clinker impiegato nelle prove e 1,04% - The free-lime content in the clinker used for the test was 1,04%.

TABELLA II

Impurezze presenti nel PG e nel NG

TABLE II

Impurities in PG and NG

	P ₂ O ₅ solubile in acqua Water-soluble	P ₂ O ₅ totale Total P ₂ O ₅	F totale Total F
			F solubile in acqua Water-soluble F
NG	0,00	<0,01	0,20
PG	0,03	0,55	0,20

SO_3), di PG e NG. Conformemente ai risultati preliminari delle prove fisiche e meccaniche e alle analisi chimiche della prima serie di prove, si è scelta una percentuale del 3% di PG (pari a 2,26% di SO_3) per una seconda serie di prove rivolte a verificare l'effetto di un'aggiunta di calcare al sistema cemento-PG (ottimizzazione del calcare) ed una terza serie di prove per l'esame della variazione delle proprietà fisiche e meccaniche in funzione delle miscele a rapporto PG/NG variabile (ottimizzazione del PG).

Tutti i campioni di cemento preparati presso il Laboratorio di Controllo della Qualità dello stabilimento della Set Balikesir, secondo quanto sopra riportato, sono stati provati per quanto riguarda le resistenze a compressione, la finezza e la superficie specifica Blaine, l'espansione (TS24/Settembre 1985), i tempi di presa iniziale e finale (TS24/Settembre 1985 - EN 196/3), la determinazione della perdita per calcinazione e le analisi chimiche via XRF (TS 687/Settembre 1985). Il PG ed il NG sono stati provati per la P_2O_5 totale e solubile in acqua e per il F nei laboratori della MTA, Turchia.

RESULTATI E DISCUSSIONE

I. Tempi di presa iniziale e finale

I valori di SO_3 ed i tempi di presa (iniziale e finale) del cemento con PG e NG sono mostrati in Tab. III e in Fig. 1.

I valori dei tempi di presa dimostrano l'efficacia del PG a ritardare fortemente il clinker di cemento Portland [5]. Inoltre, come è ben noto a molti autori [6], l'uso del fosfogesso nel cemento si accompagna a tempi di presa più lunghi di quelli dei cementi contenenti gesso naturale. Secondo detta teoria, l'effetto ritardante del gesso può essere spiegato dalla formazione di uno strato di ettringite sulla superficie del C_3A del cemento. Per i tempi di presa più lunghi determinati dalla presenza di PG, si può pensare che nel corso della idratazione i granuli vengano ricoperti da composti meno solubili, come fluoruri e fosfati di calcio [7, 8, 10, 11].

Il fosfogesso contiene in genere P_2O_5 nella misura compresa tra 0,2 e 1,5% e fluoro sino all'1,5%. Nei nostri campioni questi valori sono compresi tra 0,03 e 0,55% e tra 0,2 e 1,00%, rispettivamente, per la P_2O_5 e per il F. Così, il ritardo determinato nei tempi di presa dall'impiego del PG si colloca, come dimostrato, su livelli accettabili. Si ritiene ovviamente che il PG stagionato sia dilavato naturalmente, ad esempio dall'acqua piovana, e presenti pertanto un contenuto più ridotto di impurezze.

In ogni caso, l'utilizzo del PG potrebbe incrementare i tempi di presa portandoli su livelli inaccettabili. A ciò si può ovviare miscelando il gesso chimico con quello naturale [12], per neutralizzazione con latte di calce [13] e, qualora sorgessero dei problemi, per lavaggio con acqua. Se il PG di mostra di essere un ritardante più efficace del gesso naturale, l'ultima soluzione potrebbe essere quella di inglobare

cement (SO_3 optimisation). According to the preliminary results of physical and mechanical tests and chemical analyses of the first test series, 3% of PG (2,26% of SO_3) was the amount selected for a second series of tests aimed at evaluating the effect of limestone addition on PG cement (limestone optimisation), and a third test series aimed at observing the variation of physical and mechanical properties versus varying PG/NG mixtures (PG optimisation).

All cement samples, prepared at the Quality Control Laboratory, Set Balikesir cement plant, as described above, were tested for compressive strength, fineness and Blaine specific surface, volume expansion (TS24/September 1985), initial and final setting times (TS24/September 1985 - EN 196/3), determination of L.o.i. and chemical analyses with XRF (TS 687/September 1985). PG and NG were tested for total and water-soluble P_2O_5 and F at the laboratories of MTA, Turkey.

RESULTS AND DISCUSSION

1. Initial and final setting times

SO_3 values as well as initial and final setting times of cements containing PG and NG are shown in Table III and Fig. 1.

The above setting time data demonstrate the effectiveness of PG as a powerful retarder for Portland cement clinker [5]. Moreover, as is well known to many authors [6], setting times of PG-containing cements proved to be longer than those of NG-containing ones.

According to the said theory, the retarding effect of gypsum can be explained by the formation of an ettringite layer on the surface of the C_3A of cement. For longer setting times it may be argued that during hydration granules are covered with lesser soluble compounds such as calcium phosphates and fluorite [7, 8, 9, 10, 11].

Phosphogypsum generally contains 0,2-1,5% P_2O_5 and up to 1,5% fluorine. In our samples, however, P_2O_5 and F contents ranged between 0,03-0,55% and between 0,2-1,00% respectively. So, the delay in setting times proved to be at acceptable levels because of the use of PG. It was obviously concluded that the aged PG had been leached naturally, i.e. by rain etc., and that its impurities had decreased accordingly.

Anyway, the use of PG might increase setting times to unacceptable levels. This problem can however be overcome by blending chemical gypsum with natural gypsum [12], by lime milk neutralisation and, should that be the case, by water washing. It the PG proves to be a more effective retarder than natural gypsum, then the final solution can be the incorporation of smaller quantities of PG into the cement

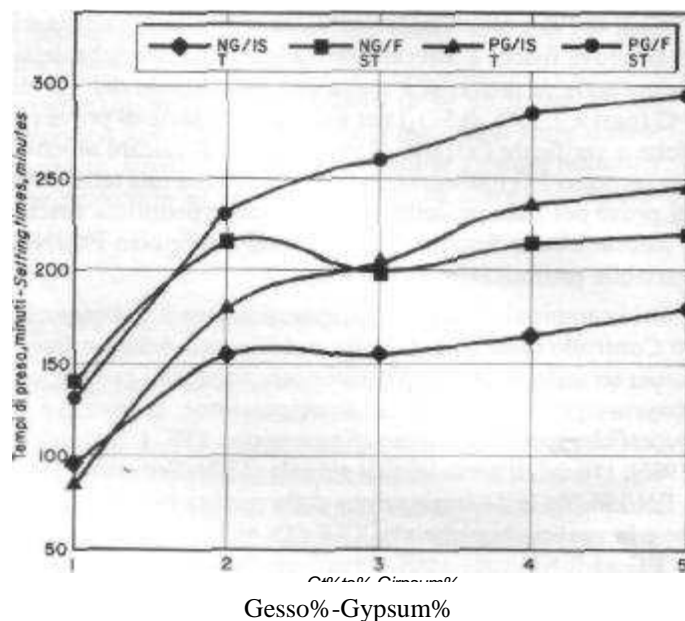
TABELLA III

Confronto dei tempi di presa del cemento contenente PG e NG

TABLE III

Comparison of setting times of cement containing PG and NG

Cemento con <i>Cement with</i>	Tempo di presa iniziale (min.) <i>Initial setting time (min.)</i>	Tempo di presa finale (min.) <i>Final setting time (min.)</i>	Contenuto di SO ₃ (%) <i>SO₃ content (%)</i>
1% N.G.	95	140	1,43
2% N.G.	155	215	1,86
3% N.G.	155	200	2,26
4% N.G.	165	215	2,68
5% N.G.	180	220	3,12
1% P.G.	85	130	1,41
2% P.G.	180	230	1,86
3% P.G.	205	260	2,26
4% P.G.	235	285	2,69
5% P.G.	245	295	3,15



1 – Confronto dei tempi di presa dei cementi con PG e NG

1 – Comparison of setting times of cements with PG and NG

/ - Comparison of setting times of cements with PG and NG

il PG nel cemento in quantità più ridotta così da evitare tempi di presa troppo lunghi tenendo conto, naturalmente, delle resistenze meccaniche.

Nel nostro caso, il PG stagionato è stato efficacemente dilavato per via naturale. Sono state provate nel cemento anche le miscele di PG e NG in differenti proporzioni. I risultati delle prove sono dati in Tab. IV e in Fig. 2 (la percentuale di SO₃ è del 2,26).

Si è provato anche il cemento contenente PG variamente addizionato con calcare così da verificare il suo effetto sui tempi di presa. I risultati sono dati in Tab. V e in Fig. 3. Come si vede dai dati sotto riportati, un 2% di calcare può ritenersi un'aggiunta ottimale.

II. Resistenza a compressione

Sulla base dei dati di Fig. 4, 5 e 6, quando confrontati con quelli del cemento contenente gesso naturale, non si osserva alcun effetto deleterio sullo sviluppo di resistenza. Alcuni autori hanno osservato che il cemento contenente gesso naturale mostra resistenze maggiori alle prime stagionature mentre alle scadenze più avanzate dei 28 giorni, i cementi contenenti PG presentano resistenze più alte di quelle dei cementi con NG. In ogni caso, secondo quanto da noi trovato, en-

so as to avoid too long setting times considering of course the mechanical strengths.

In our case, the aged PG had effectively been leached naturally. Mixtures of various proportions of PG and NG in the cement were subjected to testing. Results are illustrated in Table IV (selected SO₃% = 2,26) and Fig. 2.

The PG-containing cement was also tested by adding limestone in different proportions in order to evaluate the effect thereof on setting times. Results are given in Table V and Fig. 3. As is evident from the data provided below, a 2% limestone addition can be considered the optimum.

II. Compressive strength

As can be seen from the data given in Figures 4, 5 and 6 in comparison to a cement containing natural gypsum, no deleterious effect on strength development had been evidenced. Some authors observed that at early ages the cement containing natural gypsum exhibited higher strength whereas at an age of 28 days PG-containing cements developed higher strength than the NG-containing ones. In any case, accord-

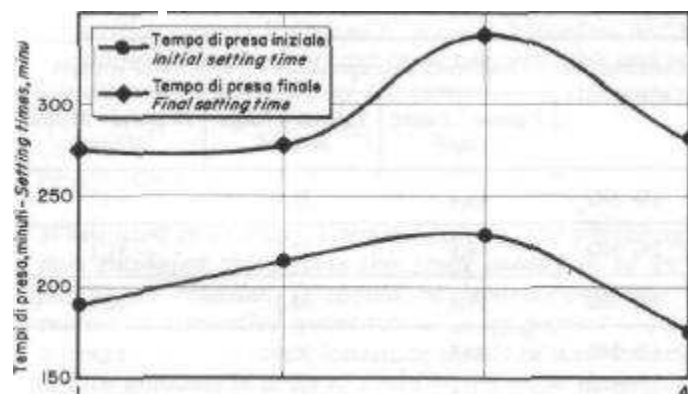
TABELLA IV

Effetto del PG in funzione del NG sui tempi di presa

TABLE IV

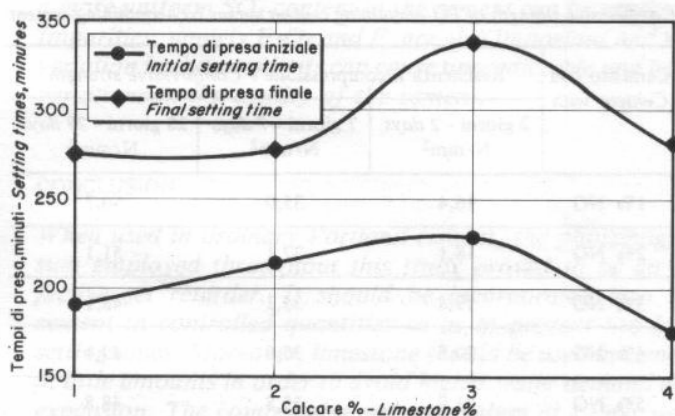
Effect of PG versus NG on setting times

Miscela - Mixture	Tempo di inizio presa (min.) Initial setting time (min.)	Tempo di fine presa (min.) Final setting time (min.)
100% NG	155	200
75% NG + 25% PG	180	245
50% NG + 50% PG	180	250
25% NG + 75% PG	210	330
100% PG	205	260



2 - Effetto del NG in funzione del PG sul tempi di presa

2 - Effect of NG versus PG on setting times



3 - Prove con aggiunte di calcare

3 - Limestone addition

3 - Prove con aggiunte di calcare

3 - Limestone addition

TABELLA V

Aggiunta di calcare

TABLE V

Limestone addition

Calcare - Limestone (%)	Tempi di presa (minuti) - Setting times (minutes)	
	Iniziale - Initial	Finale - Final
1	190	275
2	215	280
3	230	340
4	175	280

trambi i tipi di cemento mostrano un comportamento simile nei confronti del contenuto optimum di SO_3 (Tabella VI).

III. Espansione

Viene provato che il cemento contenente PG mostra una espansione leggermente superiore a quella dei cementi con NG. A ciò si può ovviare con un'aggiunta di calcare (Tabella VII).

IV. Richiesta d'acqua

Si è osservato che la richiesta d'acqua del cemento contenente PG è maggiore di quella del cemento con NG, con valori

ing to our findings, both cement types performed similarly with respect to an optimum SO_3 content (Table VI).

III. Expansion

Expansion proved to be slightly greater in the cement containing PG than in the NG containing one. This aspect can however be overcome by adding limestone (Table VII).

IV. Water demand

It was observed that the water demand of the cement containing PG was greater than that of NG cements as it avera-

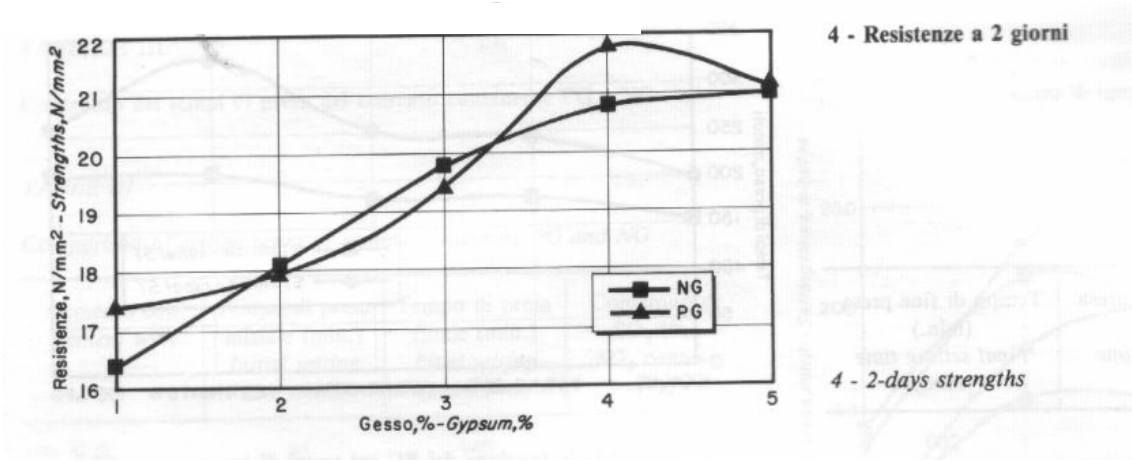
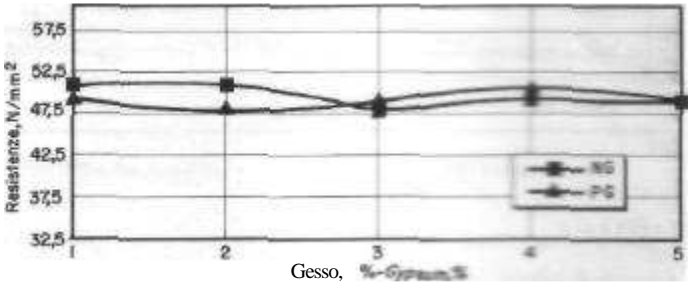


TABELLA VI

Resistenza a compressione del cemento contenente PG rispetto al cemento contenente NG

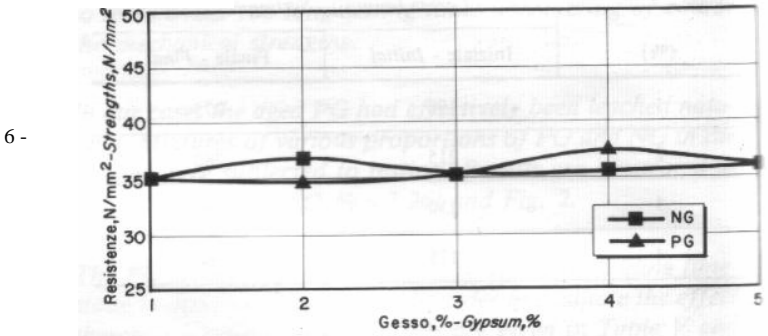
TABLE VI
Compressive strength of PG-containing cement versus NG-containing cement

Cemento con Cement with	2 giorni - 2 days N/mm ² strength	7 giorni - 7 days N/mm ²	28 giorni - 28 days N/mm ²
1% NG	16,4	35,0	50,7
2% NG	18,1	37,1	51,1
3% NG	19,8	35,1	48,1
4% NG	20,8	35,6	49,1
5% NG	21,0	35,8	48,8
1% PG	17,3	35,2	49,2
2% PG	17,9	34,8	48,0
3% PG	19,4	35,4	48,9
4% PG	21,8	37,4	50,6
5% PG	21,1	36,0	48,9



5 - Resistenze a 7 giorni

5 - 7-days strengths



6 - Resistenze a 28 giorni

6 - 28-days strengths

Resistenze a 28 giorni

6 - 28-days strengths

medi rispettivamente del 28,5 e del 27,5%. Si e pero osservato anche che a cio si puo ovviare con un'aggiunta del 2-4% di calcare.

V. Macinazione

Poiche il PG e disponibile in polvere, puo essere usato senza venire frantumato oppure ricorrendo ad una macinazione me-

ged28,5% and 27,5% respectively. Moreover, it wasfound that this could be overcome by adding 2-4% of limestone.

V. Grinding

Since PG is available in the powder form, it can be used without being crushed or by resorting to a relatively lesser

a. Cemento con NG b. Cement with NG		b. Cemento con PG b. Cement with PG		c. Cemento con 3% di PG ed aggiunta di calcare c. Cement with 3% PG and limestone addition	
Gesso Gvdsu %	Espansione Expansion mm	PG %	Espansione Expansion mm	Calcare Limestone %	Espansione Expansion mm
1	1	1	2	1	2
2	1	2	2	2	1
3	1	3	2	3	1
4	1	4	2	4	1
5	1	5	2	5	1

no spinta. Ciò comporta chiaramente dei risparmi sui costi di macinazione [14].

VI. Variazioni qualitative

Il PG è relativamente più uniforme del NG in termini di contenuto di SO_3 . E pertanto da prevedere un contenuto di SO_3 nel cemento più omogeneamente distribuito qualora il PG venga usato come ritardante di presa. Anche le impurezze, come P_2O_5 e F, hanno la loro importanza ed ogni loro variazione quantitativa può provocare imprevedibili ed ampie fluttuazioni del livello qualitativo del cemento.

CONCLUSIONE

Quando impiegato nel cemento Portland, il fosfogesso usato in questo studio si rivela un efficace ritardante. Per evitare tempi di presa troppo lunghi dovrebbe essere usato in quantità controllate. Il calcare, se necessario, dovrebbe essere aggiunto al cemento anche esso in quantità modeste si da evitare richiesta d'acqua ed espansione più elevate.

Le resistenze a compressione dopo 2 giorni sono simili in entrambi i cementi contenenti PG e NG. Sulla base di quanto trovato, la direzione dell'impianto di Set Balikesir ha deciso per una loro verifica con prove su scala industriale (Aprile 1995). Dall'Agosto 1995 l'impianto ha incrementato l'aliquota di PG nella miscela PG/NG dal 35 al 50%.

Gli autori ringraziano la Sig.ra Line Lopez, CTG-Dokumentation, per la documentazione ed i lavori riguardanti il PG; il Sig. Piero Gandini, Italcementi/Bergamo, ed il Dr. A. Sait Bayoglu, Set Group - Istanbul, Turchia, per le proposte e le utili discussioni, e la Società BAGFAS, Turchia, per la fornitura del fosfogesso utilizzato in questo studio.

Luglio 1995

TABELLA VII

Caratteristiche di espansione

TABLE VII

Expansion characteristics

grinding. This can obviously bring about saving on grinding costs [14].

VI. Quality variation

The phosphogypsum shows a relatively higher uniformity in the SO_3 content than NG. So, if PG is used as set retarder, a more uniform SO_3 content in the cement can be expected. Impurities, namely P_2O_5 and F, are also important and any variation in their contents can cause unpredictable and large variations in the quality of the cement.

CONCLUSION

When used in ordinary Portland cement, the phosphogypsum employed throughout this study proved to be an effective set retarder. It should be incorporated into the cement in controlled quantities so as to prevent too long setting times. Moreover, limestone should be used in cement in little amounts in order to avoid higher water demand and expansion. The compressive strength values at 2 days were similar in both cements containing PG and NG.

Based on the above findings, the Set Balikesir cement plant management decided to proceed with industrial tests aimed at validating experimental results (April 1995). Since August 1995, the plant has increased the proportion of PG from 35% to 50% in the PG-NG mix.

The Authors wish to thank Mrs Line Lopez, CTG-Dokumentation, for supplying documents and papers related to PG; Mr Piero Gandini, Italcementi/Bergamo, and Dr. A. Sait Bayoglu, Set Group - Istanbul, Turkey, for the fruitful discussions and proposals, and Messrs BAGFAS, Turkey, for furnishing the phosphogypsum used in this study.

July, 1995

BIBLIOGRAFIA - REFERENCES

- [1] BHATTACHARYA A.: « Production of sulfuric acid and cement from phosphogypsum using the OSW process ». *Chemical Age of India*, Vol. 27, No. 12, Dicembre - December 1976, p. 1012. Technical Session -1 - Fertilizer Industry.
- [2] SOBOTTA G., ERLNSTADT G., RIANCHO P.: « The utilisation of phosphogypsum ».
- [3] WIRSCING F.: « The Knauf Phosphogypsum Processes ». *World Cement Technology*, Ottobre - October 1980, p. 418. T1Z - Fachberichte Rohstoff - Engineering - Heft. 6/81 Ios. Jahrgang p. 383.
- [4] BERETKA J., DE VITO B., SANTORO L., SHERMAN N., VALENTI G.L.: « Utilisation of industrial wastes and by-products for the synthesis of special cements ». *Resources, Conservation and Recycling*, 9 (1993), p. 179. Elsevier Science Publishers B.V.
- [5] MEHTA P.K., BRADY R.: « Utilisation of phosphogypsum in Portland cement industry ». *Cement and Concrete Research*, Vol. 7, p. 537, 1977.
- [6] SOROKA I.: « Effects of phosphogypsum on properties of Portland cement »>. *Ceramic Bulletin*, Vol. 63, No. 12 (1984), p. 1502.
- [7] Communication with Mr. P.A. Gandini, C.T.G./Italy.
- [8] SINGH M.: « Influence of phosphogypsum impurities on two properties of Portland cement ». *Indian Concrete Journal*, Luglio - July 198" pp. 186-190.
- [9] MURAKAMI K.: « By-product gypsum from various chemical industries as a retarder for the setting of cement ». *The Fiflk International Symposium on the Chemistry of Cement*. Tokyo 1968, pp. 457-510.
- [10] OLMEZH.,ERDEM E.: « The effects of phosphogypsum on the setting and mechanical properties of Portland Cement and Trass Cement-Cement and Concrete Research, Vol. 19. pp. 377-384,1989.
- [11] BENSTED J.: « An investigation of the setting of Portland Cement -Silicates Industriels 1980-6 w.cem.Tech.Dec.1973
- [12] BENSTED J.: « Early hydration behavior of Portland Cement containing chemical by-product gypsum -World Cement Technology - December 1973, p. 404.
- [13] OSTROWSKI C.Z.: « The ways of phosphogypsum utilization -Cement Wagno - Gips R XL/LIV 1987 No.4-5 p.83
- CHOPRA S.K., NARANG K.C., VISVESVABYA H-C.- product gypsum in cement industry ». *Cheamcri 4\$ri* No. 2, Febbraio - February 1977, pp. 101-107

Il fosfogesso come ritardante di presa nel cemento Portland - *Riassunto* - Viene esaminata la possibility di impiegare **cone** I Portland fosfogesso contenente un tenore massimo in P_2O_5 dello 0,55% e in F dell'1%. I risultati delle prove dimostrano **eke** il I ritardante di presa, privo di effetti dannosi sullo sviluppo delle resistenze. I rifiuti stagionati di PG possono ritenersi **toon** di | alcun trattamento aggiuntivo.

Phosphogypsum as set retarder in Portland cement - *Synopsis* - The possibility of using phosphogypsum containing **maximaai 0^5% Pfi**; set retarder in Portland cement was investigated. Test results showed that the phosphogypsum performed as an effective set i effect on strength development. Aged PG waste can be considered a gypsum resource needing no further treatment.

i«Fa

Le phosphogypse utilise comme retardant pour les ciments Portland - *Risumi* - Dans ce travail on a verifie s'il est possible **d'utOber k** | nant un maximum de 0,55% de P_2O_5 et 1% de F comme retardant pour le ciment Portland. Il a ete observi que le **phosphofypie** < retardant. On n'a pas constate des influences nuisibles sur le developpement des resistances. Les dechets de PG vieillis peuvem **ftrei** ressources de gypse qui ne necessitent d'aucun ulterieur traitement.

Phosphorgips als Verzogerer in Portlandzementen - *Zusammenfassung* - In dieser Arbeit wird unlersucht, ob es moglich ist, **Phosphorpp*** der maximal bis zu 0,55% P_2O_5 und 1% F enthalt, als Verzogerer fur Portlandzement zu verwenden. Man hat beobachtet, dass der Phosphorgips sich effektiv als Verzogerer herausgeslellt hat. Es sind keine schadlichen Nebenwirkungen beobachtet worden. Die gealterten PG Abfalle konnen als Gipsquellen, die keiner zusatzlichen Reinigung bediirfen, betrachtet werden.